



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV AUTOMOBILNÍHO A DOPRAVNÍHO
INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF AUTOMOTIVE ENGINEERING

PÍSTNÍ KROUŽKY SOUDOBÝCH ZÁŽEHOVÝCH MOTORŮ

PISTON RINGS OF MODERN PETROL ENGINES

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

VÁCLAV CUPÁK

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

ING. PETER RAFFAI

BRNO 2014

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav automobilního a dopravního inženýrství

Akademický rok: 2013/2014

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student(ka): Václav Cupák

který/která studuje v **bakalářském studijním programu**

obor: **Strojní inženýrství (2301R016)**

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Pístní kroužky soudobých zážehových motorů

v anglickém jazyce:

Piston Rings of Modern Petrol Engines

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Cílem bakalářské práce je provést rešerši pístních kroužků soudobých zážehových motorů, a to zejména z hlediska tvarů, materiálů a povrchových úprav.

Cíle bakalářské práce:

1. úvod do problematiky pístních kroužků
2. funkce a požadavky kladené na pístní kroužky
3. popis použitých tvarů
4. popis použitých materiálů
5. popis použitých povrchových úprav
6. vlastní závěr a shrnutí práce

Seznam odborné literatury:

[1] ANDERSSON, Peter, Jaana TAMMINEN a Carl-Erik SANDSTRÖM. Piston ring tribology: A literature survey. Espoo: Technical Research Centre of Finland, 2002. ISBN 951-38-6107-4.

[2] HEYWOOD, John B. Internal combustion engine fundamentals. New York: McGraw-Hill, 1988, 930 p. ISBN 0-07-028637-X.

[7] FEDERAL-MOGUL BURSCHIED GMBH. Piston Ring Handbook [online]. 2008 [cit. 2013-10-21]. Dostupné z: <http://korihandbook.federalmogul.com/en/index.htm>

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Peter Raffai

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2013/2014. V Brně, dne 24.10.2013

L.S.

prof. Ing. Václav Pištěk, DrSc.
Ředitel ústavu

prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc., dr. h. c.
Děkan fakulty



ABSTRAKT

Tato bakalářská práce se zabývá problematikou pístních kroužků moderních spalovacích zážehových motorů. První část je zaměřena na popis funkcí a požadavků kladených na pístní kroužky, další pak na tvary pístních kroužků. Materiály ze kterých jsou vyráběny, jsou obsahem následující kapitoly. Pro správnou funkci pístních kroužků je důležitá i jejich povrchová úprava, která je obsahem poslední kapitoly práce.

KLÍČOVÁ SLOVA

Pístní kroužek, povrchové úpravy, materiály, motor, tvary

ABSTRACT

This bachelor thesis deals with issues of piston rings used in modern petrol engines. The first part is focused on describing of functions and requirements with which piston rings must deal with. Next part is aimed on shapes of piston rings. Materials from which are piston rings made of are part of third chapter. For proper function, it is important to make some surface treatment. The last chapter contains surface treatment of piston rings.

KEYWORDS

Piston ring, surface treatment, materials, engine, shapes



BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

CUPÁK, V. *Pístní kroužky soudobých zážehových motorů*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2014. 36 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Peter Raffai.



ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že tato práce je mým původním dílem, zpracoval jsem ji samostatně pod vedením Ing. Peter Raffaie a s použitím literatury uvedené v seznamu.

V Brně dne 30. května 2014

.....

Václav Cupák



PODĚKOVÁNÍ

Na tomto místě bych rád poděkoval Ing. Peteru Raffaiovi za konzultace a odborné vedení této bakalářské práce. Dále chci poděkovat svým rodičům za podporu při studiu na vysoké škole.



OBSAH

Úvod	9
1 Úvod do pístních kroužků	10
1.1 Hlavní funkce pístních kroužků	11
1.2 Hlavní rozměry pístních kroužků	11
1.3 Silové působení na pístní kroužky	12
2 Rozdělení pístních kroužků	15
2.1 Těsnící pístní kroužky	15
2.2 Stírací pístní kroužky	19
2.2.1 Stírací pístní kroužky z jedné části	19
2.2.2 Stírací pístní kroužky skládané ze dvou částí	19
2.2.3 Stírací pístní kroužky skládané ze tří částí	20
2.3 Zámek pístního kroužku	21
3 Materiály pístních kroužků	23
3.1 Šedá litina	23
3.2 Tvárná litina	24
3.3 Ocel	24
3.4 Další materiály	25
4 Povrchové úpravy pístních kroužků	27
4.1 Cínování	27
4.2 Fosfátování	27
4.3 Ferroxování	28
4.4 Sulfonitridace	29
4.5 Tvrdé chromování	29
4.6 Tepelné nástríky	31
Závěr	32
Seznam použitých zkratek a symbolů	35



ÚVOD

Spalovací motory jsou lidmi využívány již od 19. století. Jejich principem je přeměna chemické energie uložené v palivu na energii mechanickou. U spalovacích motorů se tak děje spalováním fosilních paliv, nejčastěji benzínu a nafty. V důsledku spalování však vznikají v motoru velmi vysoké teploty, kterým musí materiály, ze kterých jsou vyrobeny komponenty motoru odolat. Tyto materiály tedy musí být odolné vůči vysokým teplotám a zároveň mít malou hmotnost, aby byly minimalizovány setrvačné síly. Snahou konstruktérů je však, aby konstrukce motoru nebyla příliš nákladná. Skloubit všechny tyto tři základní vlastnosti je velmi složitý konstruktérský problém.

Aby mohl motor fungovat, musí mít několik základních komponentů. Jsou jimi píst, pístní kroužek, pístní čep, válec, ve kterém se píst pohybuje a ojnice která přenáší translační pohyb pístu na klikovou hřídel, kde se pohyb mění na rotační. V této práci se budeme zabývat jednou z komponent pístní skupiny, pístními kroužky. Další ze součástí pístní skupiny jsou píst a pístní čep. V běžných zážehových automobilových motorech se používají tři pístní kroužky. První dva od horní koruny pístu jsou těsnící a jejich úkolem je především utěsnit prostor nad pístem tak, aby tlak neunikal do prostoru pod ním. Zejména první z nich je velmi silně tepelně namáhán. Nejspodnější pístní kroužek se nazývá stírací a jeho úkolem je stírat olej z povrchu válce při pohybu pístu směrem z horní úvratě do dolní tak, aby nedocházelo ke zbytečnému spalování oleje. Pokud by ke spalování oleje docházelo, spálený olej by odcházel přes výfukovou soustavu do okolí, což by značně zhoršilo emise motorem vypouštěné.

Pístní kroužek je v moderních zážehových motorech velmi důležitou komponentou která výrazně ovlivňuje životnost, výkon i ekonomičnost provozu celého motoru a tím pádem i celého automobilu. Se stoupajícími požadavky na výkony a nízkou spotřebu motorů, stoupají i požadavky na pístní kroužky. Jejich vývoj není v žádném případě ukončenou kapitolou, stále je co zlepšovat. Ať už z hlediska materiálů, povrchových úprav, tvarů nebo jiných konstrukčních řešení. Problémem se zdá být, že zlepšením jedné vlastnosti obvykle zhoršíme jinou. Když se však podíváme, o kolik se zlepšili parametry pístních kroužků od jejich prvního použití až do současnosti, je nám jasné, že prostor pro zlepšení zde ještě někde bude. Na pístní kroužek je třeba se dívat komplexně a komplexně ho také vyvíjet. Je nutné, aby každý pracovník, který se na jeho výrobě podílí, měl znalosti o technologii jeho výroby, materiálu, konstrukci a o požadavcích na něj kladené. Jen tak je možné vyhovět neustále se zvyšujícím požadavkům na ně kladené. [1,2,3]



1 ÚVOD DO PÍSTNÍCH KROUŽKŮ

Pístní kroužky jsou dnes důležitou komponentou spalovacího motoru. V raných dobách tomu však tak nebylo. U prvních parních strojů nebylo dosahováno tak vysokých teplot a tlaků jako u současných spalovacích motorů. Díky tomu nedocházelo k výrazným teplotním dilatacím a nebylo třeba se zabývat změnami vůle mezi pístem a stěnou válce. Se vzrůstající potřebou vyšších výkonů bylo ve spalovací komoře dosahováno vyšších tlaků a teplot, následkem čehož docházelo k větším změnám vůle mezi pístem a stěnami válce. Ty bylo třeba vymezit a k tomu slouží právě pístní kroužky. Tím že vymezíme vůli mezi stěnou válce a pístem zajistíme nepronikání rozpínajících se plynů ze spalovací komory do prostoru pod pístem. Tlak, který vznikne ve spalovací komoře tak využijeme maximálně efektivně a odměnou nám je maximální možná síla, která působí na píst. Faktor, který naopak užitečnou práci odebíranou ze spalovacího motoru snižuje, je tření. Pístní kroužky musí splňovat dvě základní vlastnosti. Tou první je, že musí velmi dobře těsnit, to znamená přiléhat ke stěně válce i pístu, druhou pak je, že po tomto povrchu musí velmi dobře klouzat. Látka, která zlepšuje klouzavost povrchu, se nazývá mazivo. Mazivo slouží k zajištění dostatečného avšak tenkého mazacího filmu na stěnách válce, aby byl zaručen nízký koeficient tření a nedocházelo tak ke zbytečným třecím ztrátám. Aby bylo dosaženo maximálního tlaku ve spalovací komoře, musí být pístní kroužky neustále v kontaktu se stěnou válce a s boční drážkou pístu. Radiálního kontaktu je dosaženo vlastní pružící silou pístního kroužku, axiální kontakt se objevuje buď v místě spodní, nebo horní drážky pístu. To záleží na momentální velikosti a směru třecích a setrvačných sil, momentálních interakcích plynů a dalších aspektech.



Obr. 1 Sada pístních kroužků (zleva: stírací, 1. těsnicí, 2. těsnicí), zdroj: [10]

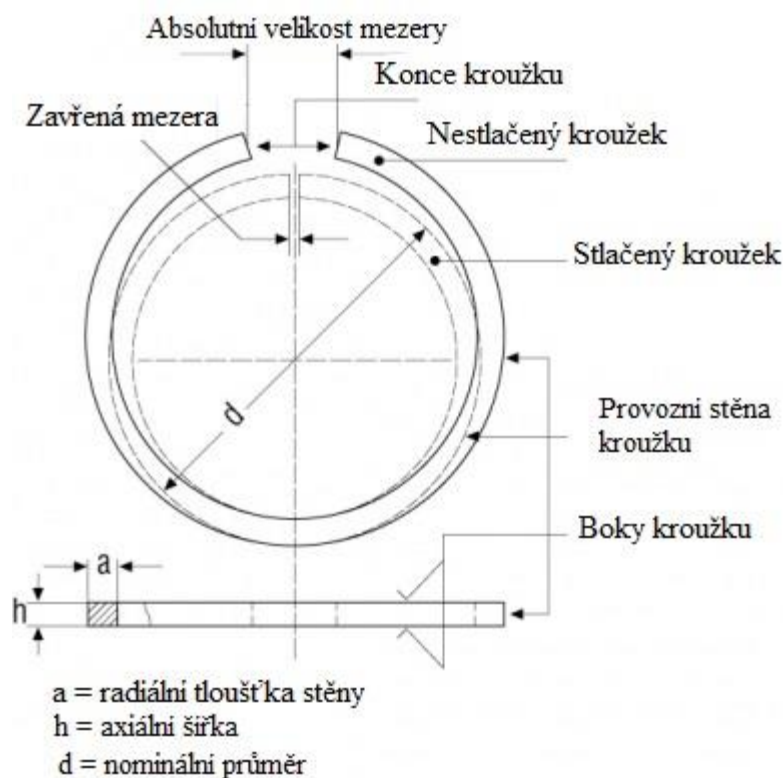


Pístní kroužky staršího provedení se skládaly z více částí včetně různých pružin, a ty vyvozovaly radiální tlak na stěnu válce. Zpočátku byly pístní kroužky mazány pouze ostříkem maziva od rotující klikové hřídele, to ale časem přestávalo stačit. S tím jak se zvyšovaly teploty a tlaky ve spalovací komoře a zvyšovala se rychlost pohybu pístu, vzrůstala potřeba vyvinout efektivnější způsob mazání. Proto byl vyvinut stírací pístní kroužek. Stírací pístní kroužky jsou navrženy tak aby zajišťovaly souvislou vrstvu mazacího filmu a přebytečné mazivo odváděly zpět do klikové skříně. Vývoj a praxe ukázaly, že optimální počet pístních kroužků je pro standartní zážehové motory roven třem. Je to kompromis mezi vysokými třecími ztrátami způsobenými velkým množstvím kroužků a mezi nedokonalým utěsněním spalovacího prostoru v opačném případě. Obvykle jsou dva z nich těsnicí, jsou to ty dva, které jsou blíže spalovací komoře. Třetí, který je také velice důležitý je kroužek stírací. V závodních automobilech nebo v jednodušších motorech však můžeme najít i pouze jeden pístní kroužek, v těchto případech je to kroužek těsnicí. Naopak vznětové motory mohou mít i více než tři pístní kroužky, je celkem běžné že mají více než jeden stírací kroužek. [1,2,3]

1.1 HLAVNÍ FUNKCE PÍSTNÍCH KROUŽKŮ

První a nejdůležitější funkce této komponenty je utěsnění spalovacího prostoru. Abychom toho dosáhli, musí být pístní kroužky neustále v kontaktu se stěnou válce, toho je dosaženo pružící silou kroužku (ať už pomocí různých pružin nebo vlastní silou). Zároveň však musí být v kontaktu s drážkami v pístu, které jsou určené pro zasazení pístních kroužků. Tlak vznikající ve spalovací komoře ještě více pomáhá komoru utěsnit, neboť zvyšuje jak radiální tak i axiální tlak na kroužky. Další z funkcí, kterou pístní kroužky plní je částečný přenos tepla z pístu do stěny válce, odkud teplo míří k chladiči. Jak už bylo napsáno v předešlém odstavci, velmi důležité je mazání stěn válců, aby se píst pohyboval hladce a nedocházelo na stěnách válce ke zvyšování teploty vlivem tření. Pístní kroužky jsou konstruovány tak aby zajistili dostatečnou avšak co nejtenčí vrstvu mazacího filmu a zároveň aby při pohybu pístu z horní úvratě do dolní bylo všechno přebytečné mazivo setřeno ze stěny válce. Kdyby nebylo přebytečné mazivo setřeno a vráceno zpět do klikové skříně, dostalo by se do spalovací komory, kde by bylo spáleno, a to by mělo negativní vliv na celkové výfukové emise vypouštěné do ovzduší a tudíž i dopady na životní prostředí. Pístní kroužky však plní i další neméně důležitou úlohu a tou je podpora pístu při pohybu mezi stěnami válce. Tímto snižují klepání pístu o stěny válce, což je velice důležité hlavně při startování, kdy je motor studený a vůle mezi pístem a stěnou válce je maximální. Pístní kroužky by dále měly být co nejlehčí, aby minimalizovaly dopad setrvačných sil na píst a na ojnici a měly by mít dlouhou životnost, aby nebyla třeba jejich častá výměna. Při tom všem musí být pístní kroužky snadno výrobitelné a levné neboť jejich výměna bývá častější než výměna jiných členů pístní skupiny. [1,2,3]

1.2 HLAVNÍ ROZMĚRY PÍSTNÍCH KROUŽKŮ

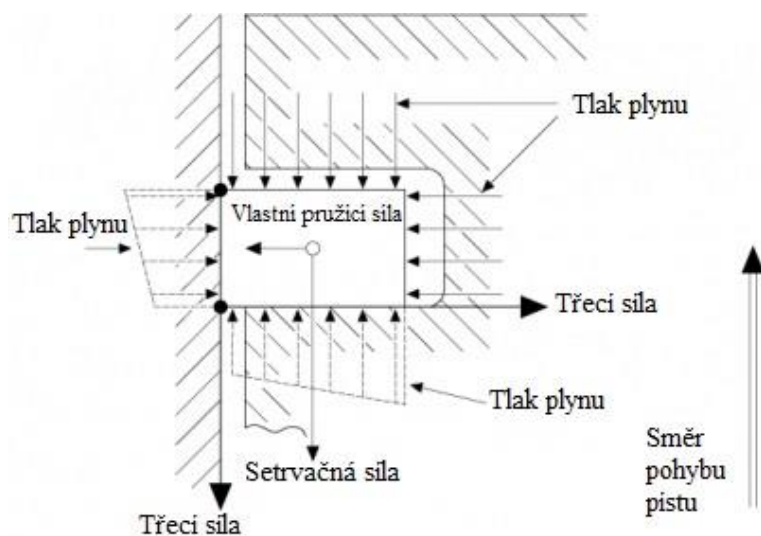


Obr. 2 Schéma pístního kroužku, zdroj: vlastní

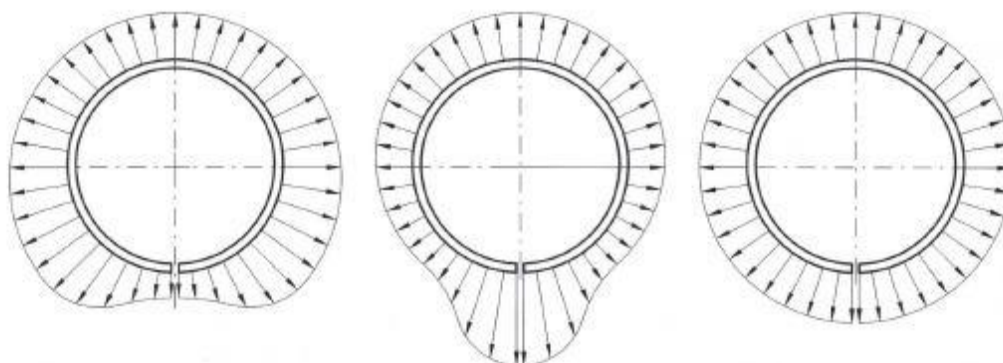
Na obrázku nahoře je znázorněno schéma pístního kroužku. Čím nižší je výška kroužku h , tím lépe dochází k odvodu tepla z pístu do válce, zároveň však dochází k větším třecím ztrátám. Chceme-li snížit třecí ztráty, můžeme snížit výšku kroužku, nastává ale problém s příliš vysokými měrnými tlaky na stěnu válce. Obecně mívají těsnící kroužky menší výšku h než kroužky stírací. [7]

1.3 SILOVÉ PŮSOBENÍ NA PÍSTNÍ KROUŽKY

Na pohybující se píst a pístní kroužky působí různé síly. Jsou to tlaky plynů, setrvačné síly a vlastní pružící síly pístního kroužku. Všechny jsou znázorněny na obrázku dole.

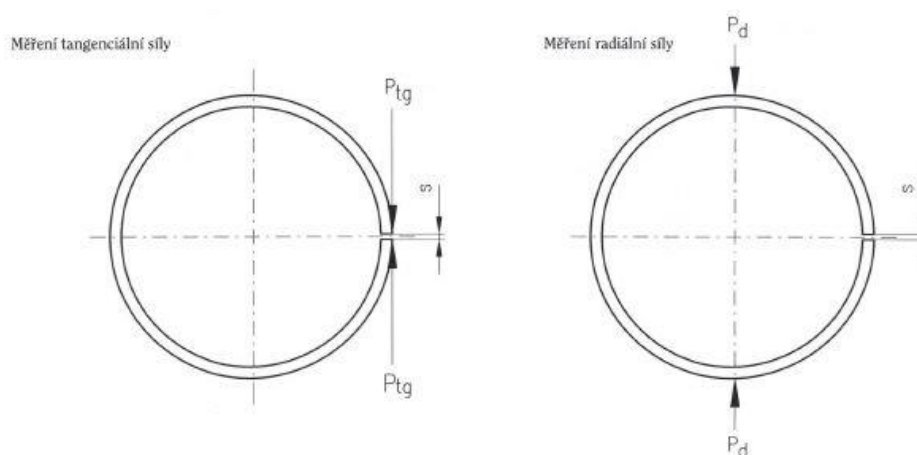


Obr. 3 Schéma sil působících na pístní kroužek v pohybu, zdroj: vlastní



Obr. 4 Schéma skutečného měrného tlaku působící na pístní kroužek, zdroj: [3]

Na obrázku nahoře vidíme rozložení skutečného měrného tlaku na pístních kroužcích zatížených provozem. Nalevo je rozložení radiálního tlaku, které je vhodné pro dvoutaktní motory, pro svůj nízký tlak ve výřezu zámku a tím snadnější přechod přes přepouštěcí kanál. Prostřední rozložení tlaku je vhodné pro čtyřdobé motory, neboť takové rozložení tlaku zabraňuje chvění pístu. Napravo je rozložení tlaku na pístním kroužku, který se používá v motorech s velkým vrtáním válců. Velmi důležitým parametrem pro návrh pístních kroužků je tangenciální síla P_{tg} . Je to síla, kterou zjistíme tím, že zatížíme pomocí ohebné pásky kroužek tak, že vymezíme vůli v zámku na předepsanou vůli. Podobně, akorát o 90° posunutě se měří radiální síla. Způsob obou měření je uveden na obrázku dole.



Obr. 5 Způsob měření tangenciální (vlevo) a radiální síly (vpravo), zdroj: [3]

vztah tangenciální a radiální síly pro modul pružnosti menší než 150 GPa

$$P_{tg} = 0,49 P_D \quad (1)$$

vztah tangenciální a radiální síly pro modul pružnosti větší než 150 GPa

$$P_{tg} = 0,46 P_D \quad (2)$$

Další rovnice je vztah mezi tangenciální silou a středním měrným tlakem. Rozdíl mezi středním a skutečným měrným tlakem je ten, že skutečný měrný tlak pracuje i s tlakem plynů, který působí na pístní kroužek a proto je skutečný měrný tlak mnohem větší.

$$p = \frac{2 \cdot P_{tg}}{D \cdot h} \quad (3)$$

D je zde nominální průměr pístního kroužku a h je jeho axiální šířka.

U pístních kroužků vždy posuzujeme napětí v ohybu v provozním stavu a napětí v ohybu při navlékání na píst. Největší napětí v ohybu v provozním stavu nalezneme v průřezu naproti zámku a má tvar

$$\sigma_{bmax} = 0,424 \cdot z \cdot E \cdot \frac{t}{(D-t)^2} \quad (4)$$

a největší napětí v ohybu při navlékání na píst najdeme o 90° vedle zámku pístního kroužku a má tvar

$$\sigma_{nmax} = 0,64 \cdot \left(\frac{4 \cdot E}{\left(\frac{D}{t} - 1 \right)^2} \cdot \sigma_{bmax} \right) \quad (5)$$

kde z je mezera mezi konci nesevřeného zámku, D je nominální průměr, E je modul pružnosti a t je radiální tloušťka. [3]



2 ROZDĚLENÍ PÍSTNÍCH KROUŽKŮ

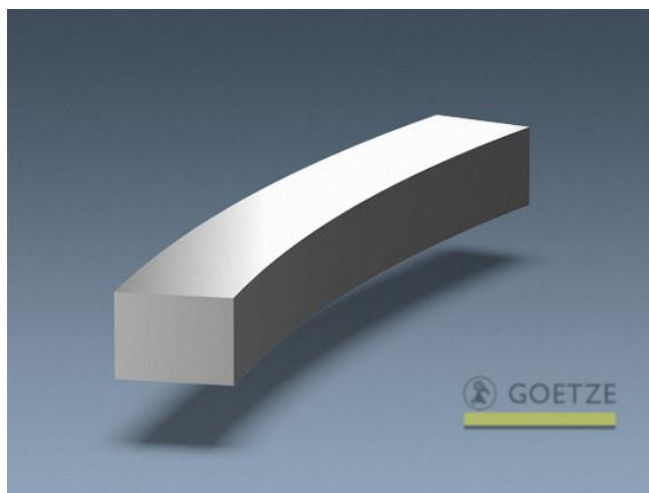
Na každý píst používaný v moderních spalovacích motorech je nasazena sada pístních kroužků. Pístní kroužky rozdělujeme podle funkce na těsnící a stírací. Existují i pístní kroužky na rozhraní mezi těsnícími a stíracími kroužky, tyto pístní kroužky dokážou plnit obě funkce zároveň. Sada pístních kroužků se skládá obvykle ze dvou až pěti pístních kroužků, ve které je alespoň jeden kroužek těsnící. Budeme-li se bavit pouze o zážehových motorech, pak typický počet kroužků v sadě je tři. Jsou to dva těsnící a jeden stírací. Obecně ale počet pístních kroužků v sadě závisí na typu motoru a na jeho použití. [1]

2.1 TĚSNÍCÍ PÍSTNÍ KROUŽKY

Funkce těsnících pístních kroužků je zřejmá z jejich názvu. Jejich úkolem je především utěsnit spalovací prostor a zamezit tak pronikání spalín do prostoru klikové hřídele. Je-li spalovací prostor dobře utěsněn, nedochází k úbytku tlaku, který působí na píst a motor tak funguje s maximální možnou efektivitou. Všechny moderní těsnící kroužky mají větší průměr než je průměr válce, do kterého jsou poté umístěny. Tím je zajištěn tlak od pístních kroužků na stěny válce, který je nezbytný pro správné fungování motoru. Průměr těsnícího kroužku bývá obvykle o deset procent větší než průměr válce. Zejména u těsnícího kroužku který je nejbližší horní koruně pístu vniká spalovací tlak do drážky pro pístní kroužek, která se nachází v pístu, a tam působí na vnitřní stranu kroužku, čímž je vyvozen přídavný radiální tlak. [1,2]

Existuje přibližně šest základních typů těsnících pístních kroužků:

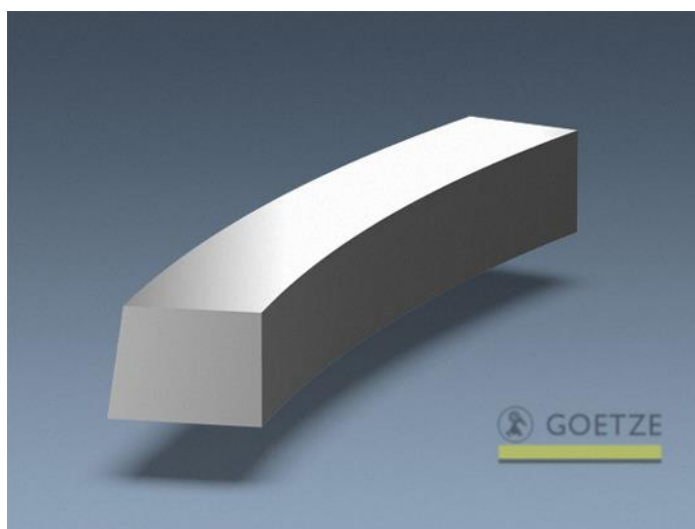
- Pístní kroužek s válcovou nebo obdélníkovou těsnící plochou se používá především jako první pístní kroužek. Velké tření a špatná regulace vrstvy maziva vedla k zaoblení těsnící plochy. Takto zaoblené těsnící pístní kroužky se dnes používají u běžných zážehových i vznětových spalovacích motorů. Čistě válcová plocha je dnes používána u motorů malé mechanizace a u slabých dvoudobých motorů. [1,7]



Obr. 6 Tvar příčného průřezu pístního kroužku s obdélníkovou těsnící plochou, zdroj: [7]

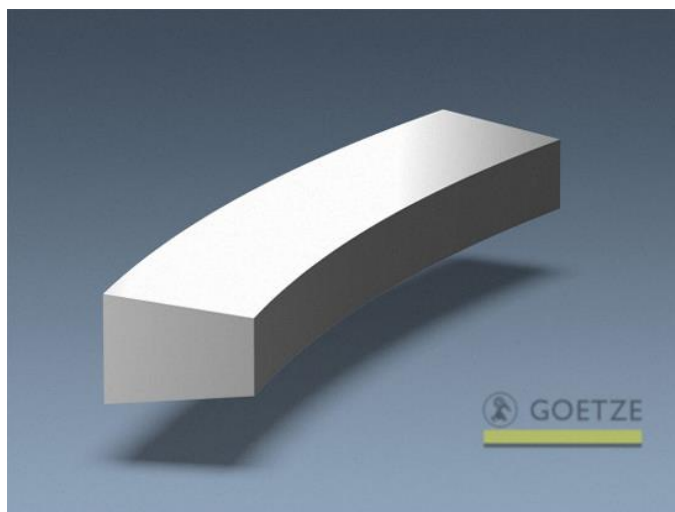


- Pístní kroužek s kuželovou těsnicí plochou (minutový těsnicí kroužek) bývá většinou zasazen do druhé pístní drážky, výjimečně i do drážky první. Sklon plochy, která se stýká se stěnou válce má hodnotu mezi třiceti a padesáti minutami, odsud název minutový těsnicí kroužek. Jeho předností je že se při záběhu motoru se stěnou válce stýká pouze malou plochou a má tak možnost se díky vysokému měrnému tlaku velmi dobře přizpůsobit tvaru válce. Při pohybu pístu do horní úvratě usnadňuje tvar kroužku průnik oleje pod kroužek. Při pohybu pístu z horní úvratě má pístní kroužek velmi dobré stírací vlastnosti. Tento pístní kroužek bývá označen značkou TOP, aby nedošlo ke špatnému namontování na píst, olej by začal pronikat do spalovací komory, spalovat se a zhoršily by se emise motoru. [1,7]



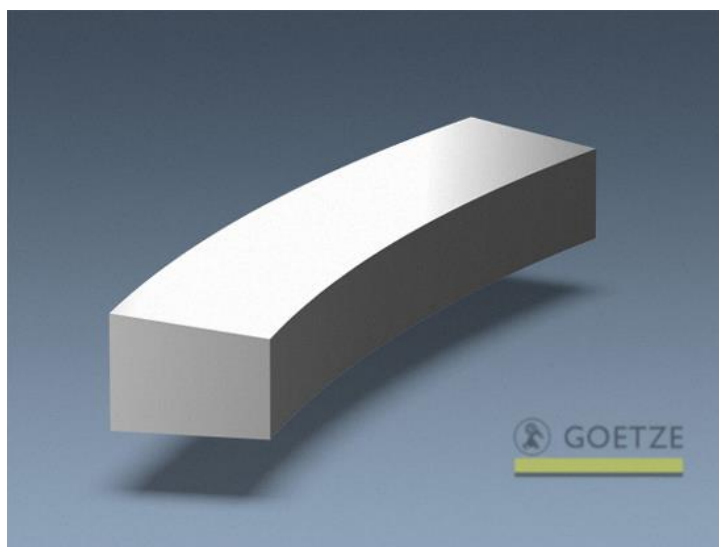
Obr. 7 Tvar příčného průřezu pístního kroužku s kuželovou těsnicí plochou (minutový), zdroj: [7]

- Pístní kroužek s trapézovou těsnicí plochou je používán jako první těsnicí kroužek. Jeho výhodou je že se při změně pohybu směru pístu zasouvá a vysouvá a díky tomu je schopný drtit případné karbonové usazeniny na stěně válce. Sklon dosedací plochy je obvyklý mezi šesti a patnácti stupni. Nevýhodou tohoto typu těsnicího kroužku je potřeba nosiče, který je nutno vložit do drážky pístu. V případě že by nosič nebyl používán, pístní drážky by byly příliš namáhány, kroužek by se rozpadl a to by mohlo vést až k celkové destrukci motoru. [1,7]



Obr. 8 Tvar příčného průřezu pístního kroužku s trapézovou těsnicí plochou, zdroj: [7]

- Pístní kroužek s lichoběžníkovou jednostrannou těsnicí plochou se vyznačuje vysokou odolností proti rozkmitání a proto je vhodný zejména pro vysokootáčkové motory. Sklon jeho dosedací plochy je přibližně sedm stupňů. Jeho další výhodou je že v době záběhu motoru kroužek těsní podobně jako kroužek minutový. Používá se v motorech, kde obdélníkový těsnicí kroužek již nepostačuje a použití trapézového těsnicího kroužku není nutné. [1,7]

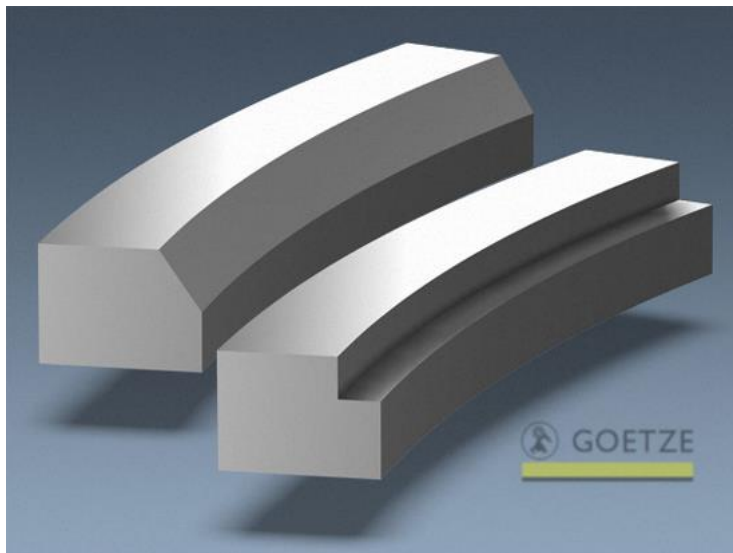


Obr. 9 Tvar příčného průřezu pístního kroužku s lichoběžníkovou jednostrannou těsnicí plochou, zdroj: [7]

- Torzní pístní kroužky mají výrazné vnitřní vybrání nebo zkosení. Díky svému tvaru se při běhu motoru dokáží talířkovitě prohnut. Zároveň je v čase záběhu motoru v kontaktu se stěnou válce pouze jedna hrana pístního kroužku a tím získávají torzní

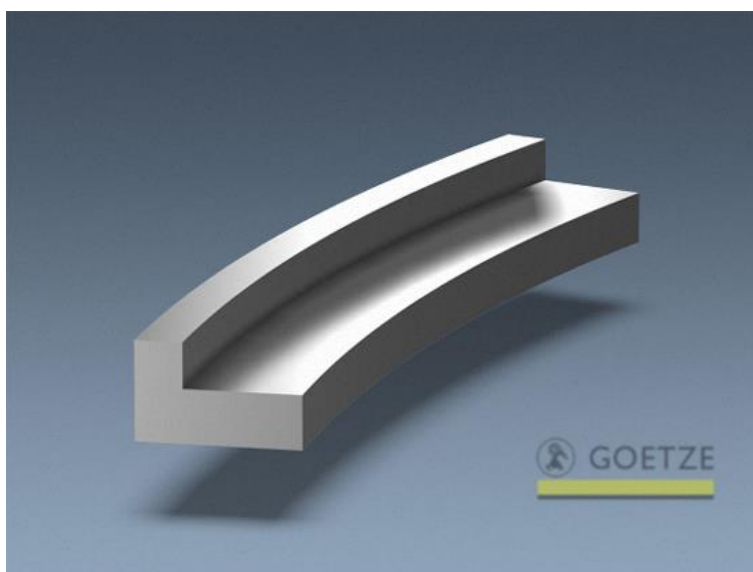


kroužky vlastnosti kroužků minutových. Tento těsnicí kroužek patří k těm, které jsou označeny značkou TOP, neboť jejich špatné namontování by mělo za následek horší vlastnosti motoru. Bývá montován na první i druhou pozici drážky. [1,7]



Obr. 10 Tvar příčného průřezu torzního těsnicího pístního kroužku, zdroj: [7]

- Těsnicí pístní kroužek tvaru „L“ je nejčastěji využíván ve dvoutaktních motorech, kde zajišťuje otevírání a zavírání přepouštěcího a výfukového kanálu. Tlak plynu, který působí na horní stranu pístu, způsobuje přidavný radiální tlak a díky tomu tento pístní kroužek ještě více těsní. Další jeho výhodou je že dokáže skvěle tlumit vibrace, proto je vhodný i pro vysokootáčkové motory. [1,7]



Obr. 11 Tvar příčného průřezu pístního kroužku tvaru „L“, zdroj: [7]

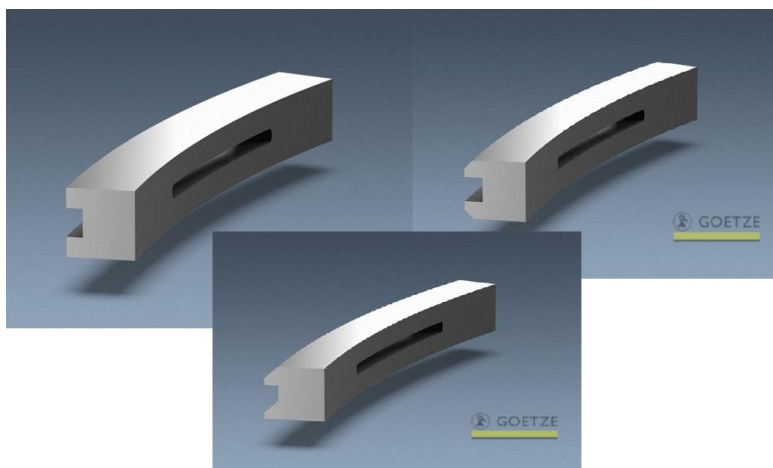


2.2 STÍRACÍ PÍSTNÍ KROUŽKY

Hlavním úkolem stíracích pístních kroužků je regulace a distribuce maziva tak aby byla na stěně válce tenká a rovnoměrná vrstva, která bude zaručovat nízké třecí ztráty a maximalizuje tak efektivnost motoru. Přebytké mazivo je kroužkem setřeno a přes drážku kroužku a otvory je odvedeno zpět do klikové skříně. Běžně můžeme v motoru najít jeden stírací pístní kroužek na jeden píst. Tam kde je třeba, může být vyžadováno více stíracích pístních kroužků. Existují však i motory, kde pístní kroužky nejsou vyžadovány vůbec, to platí hlavně pro dvoudobé motory kde je mazivo přimícháno do paliva. Stírací pístní kroužky můžeme v zásadě rozdělit na tři typy podle počtu částí, ze kterých se pístní kroužek skládá. [1,2,7]

2.2.1 STÍRACÍ PÍSTNÍ KROUŽKY Z JEDNÉ ČÁSTI

Tento nejjednodušší typ stíracích pístních kroužků je konstrukčně velmi podobný kroužkům těsnícím. V soudobých motorech se tento typ stíracího kroužku už nepoužívá, protože nezvládá plnit dnešní výkonnostní požadavky.



Obr. 12 Tvar příčného průřezu stíracích pístních kroužků sestavených z jedné části, zdroj: [7]

U těchto typů stíracích kroužků jsou v kontaktu se stěnou válce pouze dva břity, které mohou mít různý příčný profil. Malá styčná plocha způsobuje vysoký měrný tlak a tím zaručuje vysoký stírací účinek kroužku. Setřené mazivo poté putuje přes drážku v kroužku a přes soustavu kanálků až do klikové skříně. Tvar průřezu pístního kroužku (dole) zajišťuje ještě lepší stírací účinek oproti zbylým dvěma typům průřezů. [1,7]

2.2.2 STÍRACÍ PÍSTNÍ KROUŽKY SKLÁDANÉ ZE DVOU ČÁSTÍ

Stírací pístní kroužky tohoto typu se skládají z profilovaného pístního kroužku a spirálové pružiny. Pružina způsobuje napětí, které přenáší tlak pístního kroužku na stěnu válce a tím zlepšuje stírací vlastnosti kroužku. Pružina je uchycena ve vnitřní drážce pístního kroužku a může být buď kruhového tvaru, nebo tvaru písmene „V“. Pro snížení třecích ztrát mezi pružinou a pístním kroužkem bývá pružina často uložena v teflonovém obalu. Aby bylo zabráněno



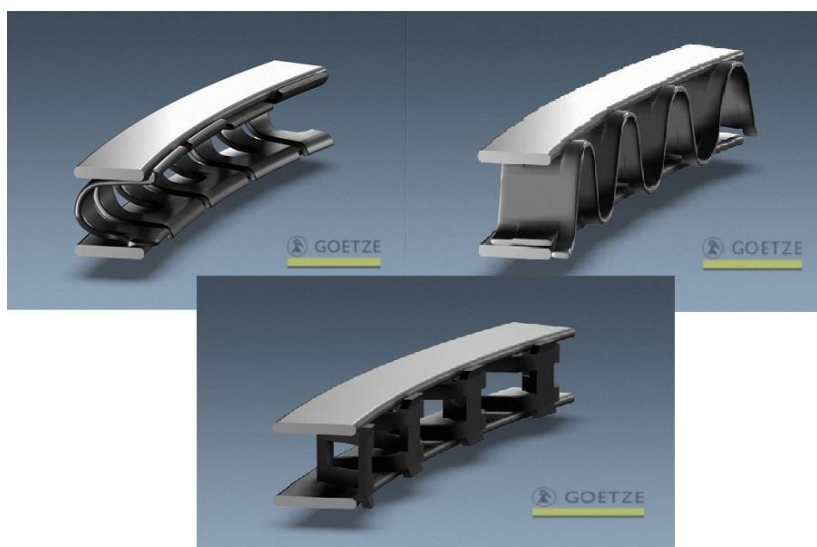
hromadění maziva mezi břity, je nutné, aby pístní kroužek obsahoval kanálky pro odvod maziva zpět do klikové skříně. Tyto kanálky mohou být buď kruhové, nebo obdélníkové, přičemž obdélníkové kanálky se především používaly v motorech z dřívějších dob. V současné době se častěji používají kruhové kanálky a to hlavně z důvodu vyšší odolnosti proti poškození. [1,7]



Obr. 13 Tvar příčného průřezu stíracích pístních kroužků sestrojených ze dvou částí, zdroj: [7]

2.2.3 STÍRACÍ PÍSTNÍ KROUŽKY SKLÁDANÉ ZE TŘÍ ČÁSTÍ

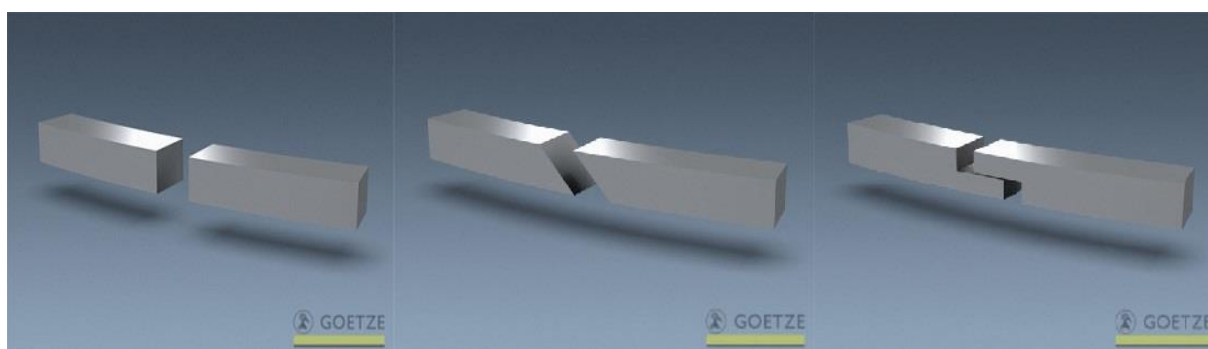
Skládají se ze dvou ocelových lamel a rozpínací pružiny, která je rozpíná. Jejich výhoda spočívá v nízké zástavbě a s tím souvisí nízká hmotnost těchto stíracích pístních kroužků. V současnosti jsou nejpoužívanějším typem stíracích pístních kroužků v zážehových motorech osobních automobilů. Tento typ kroužků však má i nevýhody a tou je především skutečnost, že při opotřebení povrchu kroužku dochází rychleji k poklesu měrného tlaku, následně se olej dostává do spalovací komory, kde je spalován a dochází k razantnímu úbytku oleje. Pro větší odolnost bývají všechny součásti často podrobeny povrchové úpravě. Na obrázku jsou znázorněny tři tvary průřezů stíracích pístních kroužků sestrojených ze tří částí, vlevo i vpravo rozpínací pružiny působí ve směru axiálním, zatímco v dolním obrázku je síla jakou působí pružina radiální. [1,7]



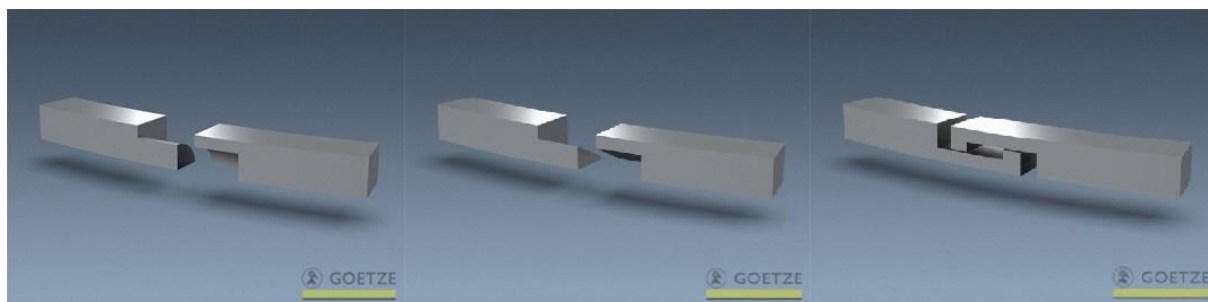
Obr. 14 Tvar příčnému průřezu stíracích pístních kroužků sestavených ze tří částí, zdroj: [7]

2.3 ZÁMEK PÍSTNÍHO KROUŽKU

Z hlediska konstrukce je důležité, že každý kroužek je rozříznutý. Tomuto konstrukčnímu prvku se říká zámek pístního kroužku a vyskytuje se jak u pístních kroužků těsnících tak i u stíracích. Je nutný pro to aby bylo vůbec možné pístní kroužek do pístní drážky zasadit. Vůle zámku musí být taková, aby nedošlo i při maximální provozní teplotě k vymezení vůle zámku. Existuje mnoho různých provedení zámků kroužků. Nejčastějším a současně nejjednodušším je zámek kolmý. Dalšími typy zámků je zámek tvarový a šikmý, ty však nemají žádné přídavné vlastnosti oproti zámku kolmému. Lepší vlastnosti zejména co se týče utěsnění, má další typ zámku a ten se nazývá krokový zámek. Hákový zámek pak slouží pouze k usnadnění montáže a nemá žádný přídavný těsnící účinek.

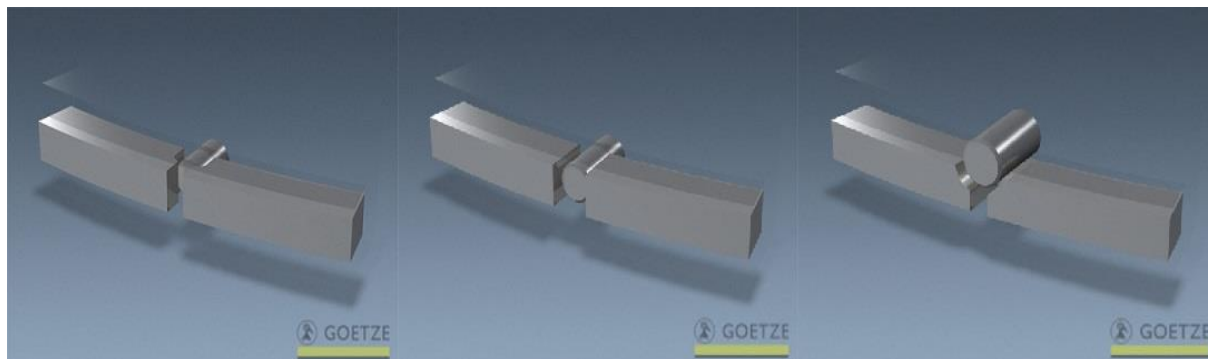


Obr. 15 Tvary zámků pístních kroužků (zleva: kolmý, šikmý, tvarový), zdroj: [7]



Obr. 16 Tvary zámků pístních kroužků (zleva: krokový vypouklý, krokový šikmý, hákový), zdroj: [7]

U motorů dvoudobých je oproti motorům čtyřdobým potřeba navíc zamezit otáčení pístních kroužků. Kdybychom jejich otáčení nezamezili, hrozilo by, že se pístní kroužky dostanou volným koncem do kontaktu s hranou sacího kanálu a mohly by se zlomit. Občas je otáčení pístních kroužků zamezeno i u čtyřdobých motorů. K zamezení volného otáčení kroužků se používá čep, který je pevně spojen s drážkou pístu. Existují tři způsoby umístění čepu vůči pístnímu kroužku. Prvním a nejčastěji používaným z nich je, když čep je umístěn v kořenu drážky pístu a zároveň neprochází přes celou šířku kroužku. Dalším typem je čep umístěn taktéž v kořeni pístní drážky ale zároveň procházející přes celou šířku pístního kroužku. Posledním způsobem jak zamezit volnému otáčení kroužku je čep umístěný ve spodní nebo vrchní části pístní drážky, přičemž v pístním kroužku jsou výřezy, do kterých je čep zasazen. [1,7]



Obr. 17 Tvary zámků pístních kroužků proti otáčení (zleva: vnitřní, centrální, boční), zdroj: [7]

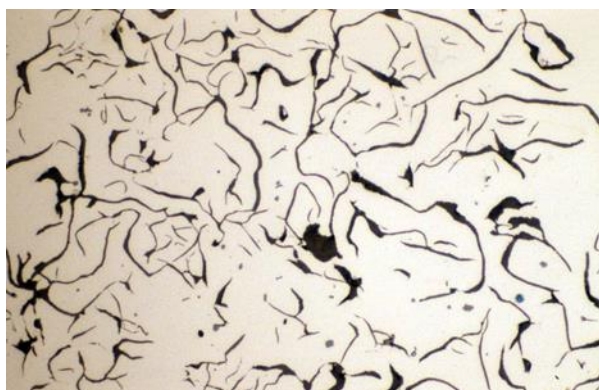


3 MATERIÁLY PÍSTNÍCH KROUŽKŮ

Materiál pístního kroužku musí být vždy volen tak aby dokázal plnit svoji funkci při provozních podmínkách motoru. Navíc musí i krátkodobě přestát extrémní zatížení. Z funkce pístních kroužků je zřejmé že od materiálu vyžadujeme zejména pružnost při teplotách kolem 250°C, teplotní stálost, to je aby ani po dlouhodobé teplotní zátěži nedocházelo ke změnám struktury materiálu a tím pádem i ke změnám mechanických vlastností pístních kroužků, vysokou ohybovou pevnost a korozivzdornost. Odolnost proti korozi je zde nutná neboť pístní kroužky čelím vlivům jako je palivo, nasávaný vzduch, mazací olej a spaliny. Materiál musí mít i vyšší tvrdost aby nedocházelo k vytloukání bočních ploch v drážkách pístu. Je potřeba i odolnost proti rázům neboť je jim vystaven od tlaků ze spalovacího prostoru a také od vratných pohybů pístu. Rázy od vratných pohybů pístu je možné minimalizovat snížením hmotnosti pístních kroužků, z tohoto hlediska je tedy vhodné volit co nejlehčí materiál. Další vlastnosti, které od materiálu vyžadujeme, jsou dobré charakteristiky při normálním i suchém mazání, dobré vedení tepla a odolnost proti mikrosvarům. Z ekonomického hlediska je velmi důležité, aby byl materiál jednoduše vyrobitelný a co nejlevnější. Ani jeden z těchto materiálů však není schopen splnit všechny požadavky najednou. Abychom dostali materiál, který těmto požadavkům dostojí, musíme pístní kroužek povrchově upravit. Proto materiál musí mít i dobrou schopnost přilnavosti povrchových úprav. Volba materiálu závisí především na napětí, která se budou v pístních kroužcích objevovat a pak také na druhu pístního kroužku, zda to bude pístní kroužek těsnicí nebo stírací. Materiály, které tyto požadavky dokáží splnit, jsou především šedá litina, tvárná litina, některé oceli, spékané prášky, keramika a tyto mohou být tvrzené, temperované i nijak neupravované. [3,7]

3.1 ŠEDÁ LITINA

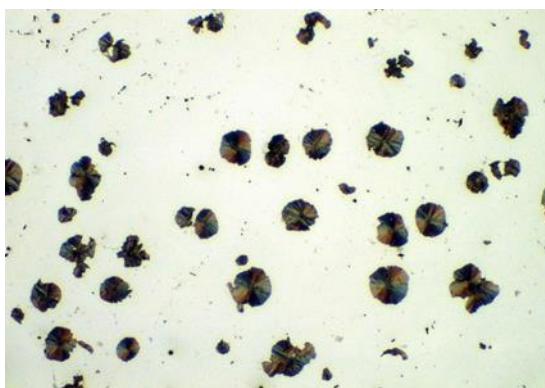
Šedá litina nebo těž litina s lupínkovým grafitem je slitina železa s uhlíkem s obsahem uhlíku přesahujícím 2,14%, obvykle bývá obsah uhlíku v železe 3,5%. Dále tento materiál obsahuje vysoký podíl křemíku, přibližně 2,5%, malé množství síry, manganu a fosforu. Uhlík je zde vyloučen ve formě lamelárního grafitu v kovové matici. Použití šedé litiny v pístních kroužcích je výhodné zejména díky velmi dobrým vlastnostem grafitu, který se v ní nachází. Grafit se vyznačuje velmi dobrým mazáním za sucha a je proto velmi vhodným materiálem pro starty anebo jiné chvíle kdy je motor nedostatečně mazán. Grafit navíc funguje jako jakýsi zásobník oleje neboť se na něm olej usazuje a i proto má šedá litina lepší mazací vlastnosti než jiné materiály. Lamelární tvar grafitu zajišťuje šedé litině dobrou tepelnou vodivost, která je u pístních kroužků vyžadována, zároveň však snižuje tažnost a pevnost v tahu a ohybu, ty však mají stále vysokou hodnotu. Legovaná šedá litina tepelně upravená nebo temperovaná má navíc vysokou tvrdost, která zaručuje dobrou otěruvzdornost i bez použití povlaku. Ona tvrdost vychází z jemné perlitické struktury materiálu ve které jsou jemně rozptýleny sekundární karbidy. Proto je legovaná šedá litina velmi často využívána na výrobu druhých těsnících kroužků. Nelegovaná šedá litina má jemnou grafitickou lamelární strukturu v perlitické matici a to vede k nízkému modulu pružnosti, z čehož plyne velmi dobrá přiléhavost ke stěnám válce. Nelegovaná šedá litina bývá materiálem, ze kterého jsou vyrobeny skládané stírací pístní kroužky ze dvou částí. Kvantitativně je mezi pístními kroužky nejvíce zastoupena právě šedá litina. [3,7]



Obr. 18 Struktura šedé litiny (litiny s lamelárním grafitem), zdroj: [13]

3.2 TVÁRNÁ LITINA

Tvárná litina neboli litina s kuličkovým grafitem je stejně jako litina šedá, slitina železa, uhlíku a dalších prvků. Oproti šedé litině má však vyšší obsah uhlíku a křemíku. Tím jsou dány i odlišné mechanické vlastnosti. Většinu mechanických vlastností má tvárná litina lepší než šedá litina, je to především pružnost a pevnost v ohybu, která se navíc dá ještě zvýšit vyvoláním martenzitické struktury v materiálu. Nevýhody spočívají ve špatné schopnosti utlumit rázy, malé dynamické houževnatosti, velké citlivosti vůči vrubům a ve špatných kluzných vlastnostech samotného materiálu, je proto nezbytné tento materiál dále povrchově upravit. Hlavní nevýhodou však je vysoká cena pístních kroužků vyrobených z tohoto materiálu. Vysoké náklady na výrobu pístních kroužků z tvárné litiny jsou způsobeny hlavně drahým zařízením na jejich výrobu a navíc je tento materiál velmi obtížně opracovatelný. Tvárná litina je vhodná především pro konstrukci nejvyšších a nejvíce namáhaných těsnících pístních kroužků. [4]

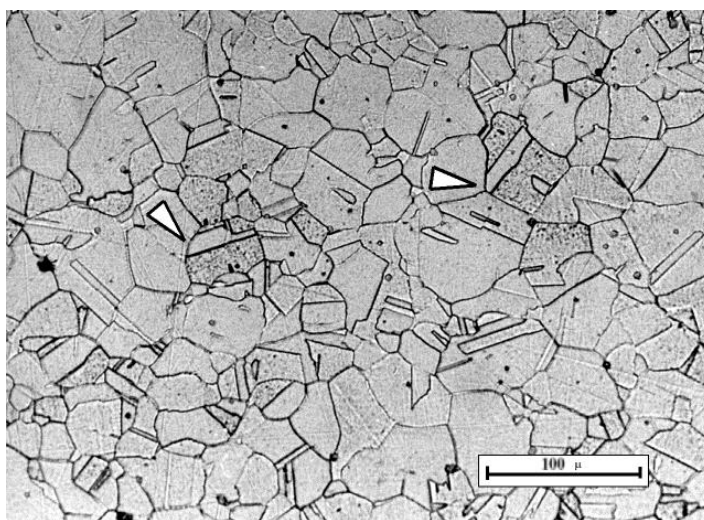


Obr. 19 Struktura tvárné litiny (litiny s kuličkovým grafitem), zdroj: [12]

3.3 OCEL



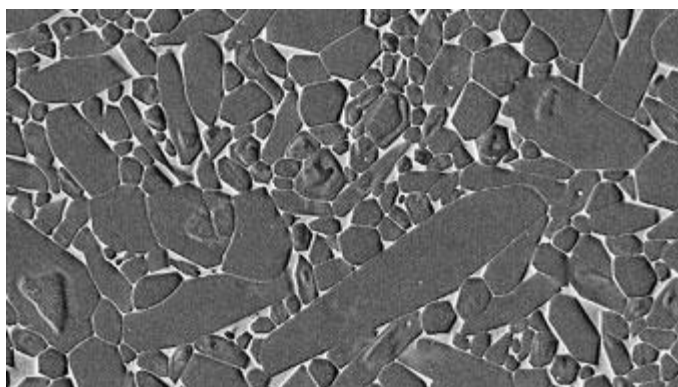
Na výrobu pístních kroužků z oceli se nejvíce používá legovaná chrom-křemíková ocel která je velmi podobná materiálu ze kterého se vyrábějí pružiny. Velmi vysoký modul pružnosti tohoto materiálu zaručuje chromovým ocelím vysokou únavovou pevnost a poskytuje záruku, že ocelový pístní kroužek bude v motoru dlouho fungovat, aniž by došlo k jeho zlomení. Nevýhoda tohoto materiálu spočívá především ve špatných kluzných vlastnostech ocelí, proto musí být všechny pístní kroužky vyrobeny z oceli povrchově upraveny. Chrom-křemíková ocel se používá především pro výrobu lamelových stíracích pístních kroužků a dále na speciální aplikace kroužků těsnících. Jde především o letecké motory, vojenská vozidla a motory závodních vozů. [7]



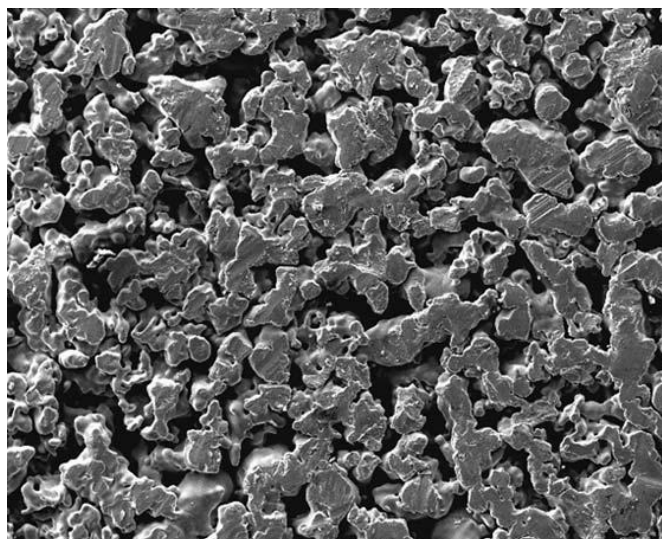
Obr. 20 Struktura chrom-křemíkové oceli, zdroj: [16]

3.4 DALŠÍ MATERIÁLY

Mezi ostatní materiály řadíme ty, které se pro výrobu pístních kroužků používají jen zřídka. Nejrozšířenější z těchto ostatních materiálů jsou spékané prášky a keramika. Spékané prášky se pro výrobu pístních kroužků začaly používat v 60. letech minulého století a hlavním důvodem byla vysoce produktivní technologie práškové metalurgie. Používaly byly prášky kovové i nekovové a ty byly smíšeny v takovém poměru, aby měl po spečení vytvořený pístní kroužek požadované vlastnosti. Pístní kroužky vyrobené ze spékaného prášku měly přibližně stejně velký modul pružnosti jako pístní kroužky ze šedé litiny a měly vynikající kluzné vlastnosti i při polosuchém tření. Důvod, proč už se pístní kroužky ze spékaného prášku nepoužívají, je, že po určité době provozu ztrácí v důsledku tepelného zatížení tangenciální sílu, což vede ke ztrátě jedné z jejich hlavních funkcí. Tyto pístní kroužky je však možné využít v motorech, které nejsou tolik tepelně zatěžovány, například pístová čerpadla a kompresory. Dalším z materiálů, které se vyskytují při výrobě pístních kroužků pouze okrajově, je keramika. V současné době jsou prováděny výzkumy zaměřující se na použití keramických kroužků jako doplněk ke kroužkům kovovým. Při testech kluzných vlastností byly měřeny různé druhy keramiky, karbid křemičitý, nitrid křemičitý a oxid zirkoničitý. Z výsledků testu vyplynulo, že ani jeden z těchto tří druhů keramiky není vhodný na podmínky polosuchého mazání a oxid zirkoničitý dokonce i při dostatečném mazném filmu trpí teplotními šoky a následně praská. [2,7]



Obr. 21 Struktura nitridu křemičitého, zdroj: [6]



Obr. 22 Struktura materiálu ze spékaného prášku, zdroj: [14]

4 POVRCHOVÉ ÚPRAVY PÍSTNÍCH KROUŽKŮ

Jak již bylo zmíněno v předchozí kapitole, žádný z materiálů který se na výrobu pístních kroužků používá, není schopen splnit všechny požadavky na něj kladené. Z tohoto důvodu byla do výroby zavedena technologická operace povrchové úpravy. Jejím hlavním cílem je ochránit povrch kroužku proti korozi, usnadnit záběh pístních kroužků, zlepšit jejich kluzné vlastnosti a zvýšit jejich životnost. Nejběžnější povrchové úpravy se nyní pokusím popsat. [3]

4.1 CÍNOVÁNÍ

Cínování povrchu pístního kroužku se provádí pro zlepšení záběhových vlastností. Na jeho povrchu se vytvoří velmi měkký cínový povlak, který zamezuje zadírání. V případě že dojde k místním příděrům, tenká cínová vrstva se nataví, v důsledku velmi nízké teploty tavení cínu, a roztavující se cín se tak dostává do role mazacího prostředku. Proto je tato povrchová úprava vhodná pro aplikaci na pístní kroužky do motorů, u kterých vyžadujeme velice krátkou dobu záběhu. Další výhodnou vlastností cínování je vysoká odolnost proti korozi. Samotný proces cínování probíhá při relativně nízké teplotě, asi 80°C a díky tomu je vhodný i pro tepelně zpracované pístní kroužky. Vrstva cínu dosahuje tloušťky mezi 0,004 až 0,008 mm a jej jí dosahováno galvanickým pokovováním kroužku. Galvanické pokovování je prováděno většinou nadvakrát, aby výsledný povlak nebyl houbovitý. [3]



Obr. 23 Cínová vrstva na vnitřku konzervy, zdroj: [15]

4.2 FOSFÁTOVÁNÍ

Fosfátování patří mezi chemické povrchové úpravy, při které se na povrchu kroužku vytvoří krystaly fosforečnanů. Vlastnosti fosfátovaného povrchu jsou vysoká odolnost proti korozi a dobré záběhové schopnosti. Navíc mají takto upravené pístní kroužky i dobrou tvrdost v porovnání s výchozím materiálem. Vzhledem k nekovovému charakteru této vrstvy navíc nehrozí zadření. V průběhu záběhu pístních kroužků dojde k otěru fosfátových krystalů a ty spolu s mazivem vytvoří směs, která má podobné vlastnosti jako lapovací pasta a zamezuje



příděrům které se mohou objevit. Zároveň se po jejím obnažení, stane spodní vrstva krystalů vrstvou porézní, pojme do sebe olej a tím dále snižuje nebezpečí zadření kroužků i při polosuchém tření. Stejně jako při cínování, tak i při procesu fosfátování nebývá dosaženo příliš vysokých teplot a proto je možné fosfátovat i tepelně zpracované materiály. Vzniklá vrstva má obvykle tloušťku kolem 0,005 mm. Fosfátování je jednou z nejčastějších povrchových úprav pístních kroužků. [3]



Obr. 24 Pístní kroužky upravené fosfátováním, zdroj: [9]

4.3 FERROXOVÁNÍ

Povrch ošetřený ferroxováním má o trochu vyšší tvrdost než fosfátovaný povrch, další vlastnosti jsou však podobné. Vnější měkký povrch se při záběhu kroužku otře a směs setřené ferroxované vrstvy spolu s mazivem vytvoří mazlavou směs, která usnadní záběh motoru a dokáže zabránit příděrům. Zbylá vnitřní ferroxovaná vrstva je tvrdá a otěruvzdorná a prodlužuje tak životnost pístního kroužku. Hlavní nevýhodou této povrchové úpravy je nemožnost takto povrchově upravit tepelně zpracované materiály, protože proces, při němž se ferroxovaná vrstva vytváří, probíhá při teplotě okolo 540°C. Obvyklá tloušťka vrstvy je 0,0075 mm. [3]



Obr. 25 Prášek Fe_3O_4 používaný při ferrokování, zdroj: [5]

4.4 SULFONITRIDACE

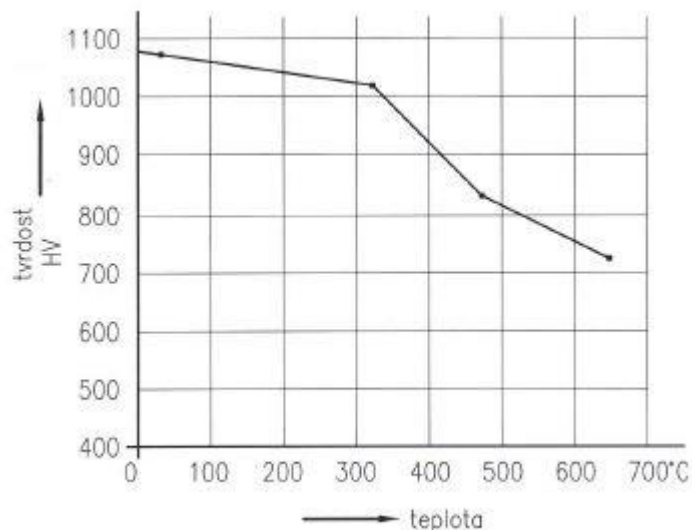
Proces sulfonitridace byl zaveden jako náhrada za proces sulfinizace který je považován za nebezpečný. Vlastnosti vrstvy získané sulfonitridací jsou srovnatelné s účinky vrstvy získané ferrokováním. Sulfonitridace však probíhá za nižších teplot než ferrokování, přibližně 400°C. Získaná vrstva má tloušťku od 0,02 do 0,05 mm. [3]

4.5 TVRDÉ CHROMOVÁNÍ

Způsob upravení povrchu tvrdým chromováním je nejčastějším způsobem úpravy povrchu materiálů pístních kroužků. Poprvé bylo zavedeno jako úprava leteckých motorů za druhé světové války. Jedná se o galvanické nanášení povrchové vrstvy, které je vhodné pro ocel a litiny chudé na grafit. Tvrdost, kterou správně nanesená chromová vrstva dosahuje je 800 až 1100 HV, což je podstatně vyšší tvrdost než má základní materiál i případné nečistoty, které se mohou nacházet ve válci. Chrom má teplotu tavení asi 1920°C což je o 650°C vyšší teplota než je teplota tavení vložky válců, které jsou vyrobeny z litiny. Díky tomuto faktu nehrozí zadření takto upravených pístních kroužků s vložkou válce. Odolnost proti korozi je další velmi přínosnou vlastností chromu. Problémem se ukázal být fakt, že koeficient roztažnosti chromu je odlišný od koeficientu roztažnosti základního materiálu pístního kroužku. V důsledku toho mohou ve vrstvě chromu vznikat mikrotrhliny a do těchto mikrotrhlin mohou vnikat částice maziva, které tak velmi zlepší kluzné vlastnosti materiálu. Do mikrotrhlin však mohou vnikat i korozivní látky. Ty mohou narušit základní materiál i povrchovou vrstvu a následně může dojít k odloupávání chromové vrstvy. Protože chromová vrstva je vysoce otěruvzdorná a má jen velmi slabou schopnost udržet olejový film, dochází k problémům při záběhu pístních kroužků. To se někteří výrobci snaží vyřešit nanesením tenké cínové vrstvy, která má naopak velmi dobré vlastnosti při záběhu motoru, které jsou popsány výše. Dalším způsobem jak tento problém alespoň částečně eliminovat je nanesení porézní chromové vrstvy ve které ulpívá mazivo a zlepšuje kluzné vlastnosti povrchu. Z důvodu vysoké odolnosti proti otěru a tím pádem pouze málo se měnícím rozměrům kroužku, jsou požadavky na kvalitu opracování a přesnost rozměrů chromovaných pístních kroužků velmi vysoké. Pro dvoutaktní motory není technologie úpravy povrchu pístních kroužků chromováním příliš vhodná neboť přídržnost chromové vrstvy

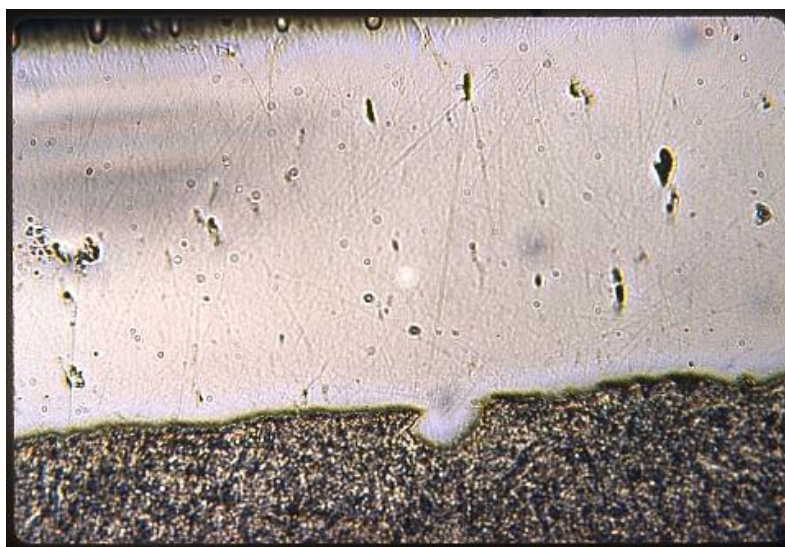


k základnímu materiálu je omezená a neustálé přechody přes výřezy kanálu mohou způsobit až odloupení chromové vrstvy. Tloušťka chromové vrstvy se obvykle pohybuje mezi 0,1 až 0,18 mm.



Obr. 26 Závislost tvrdosti chromové vrstvy na teplotě, zdroj: [3]

Jak je vidět z grafu závislosti tvrdosti chromové vrstvy na teplotě, přibližně do 300°C má vrstva obstojnou tvrdost. S dalším zvýšením teploty však tvrdost strmě klesá. Z tohoto důvodu není vhodné kroužek upravený chromováním dále tepelně upravovat například ferroxováním. Tvrdým chromováním bývá nejčastěji upravován horní těsnící kroužek a stírací pístní kroužek a to hlavně z důvodu vysokého mechanického a tepelného zatížení u kroužků těsnících a z důvodu poměrně vysokých měrných tlaků u stíracích kroužků. [3,7]



Obr. 27 Ocel s nanesenou vrstvou chromu, zdroj: [11]

4.6 TEPELNÉ NÁSTŘIKY

Technologii tepelných nástřiků rozdělujeme na nástřik plamenem a nástřik plazmou. Materiál, který je na povrch pístních kroužků nástříknut jsou buď kovové kompozity, kovo-keramické kompozity, keramické kompozity nebo molybden. Pro použití v zážehových spalovacích motorech je nejčastěji volena právě molybdenová vrstva, v budoucnosti však určitě najde své uplatnění i vrstva keramická pokud se podaří snížit její křehkost. V současnosti se nástřik keramické vrstvy používá jako dodatečná vrstva na pístní kroužek upravený tvrdým chromováním. Nástřik molybdenové vrstvy plamenem probíhá natavením molybdenového drátu kyslíko-acetylenovým plamenem a následným rozprášením kovu na povrch pístního kroužku. Po nárazu na základový materiál k němu natavený kov přilne. Na rozdíl od chromu, který má teplotu tavení 1760°C má molybden teplotu tavení 2620°C , molybden má nižší koeficient tření, vyšší tvrdost a vyšší porezitu která umožňuje značné nasáknutí molybdenové vrstvy olejem a dále tak snížit koeficient tření. Proto je pro účely ochrany povrchu pístního kroužku vhodnější molybdenová vrstva. Aby byla přídržnost molybdenové vrstvy k základnímu materiálu ještě lepší, je nutné z povrchu základního materiálu odstranit grafit. Pro lepší kvalitu povrchu se nástřik provádí až v 10 vrstvách. Tvrdost takto upravené vrstvy se pohybuje od 1000 do 1200 HV. Pro motory které pracují za vyšších teplot, než 350°C již není nástřik plamenem vhodný, neboť základní materiál začne být oxidován a molybdenová vrstva ve spojení s oxidační atmosférou má velmi malou pevnost a odlupuje se. Na vyšší teploty je používán nástřik plazmou. [3]



Obr. 28 Struktura povrchu po nástřiku molybdenem, zdroj: [8]



ZÁVĚR

S rostoucími nároky člověka na výkon vozidla a požadavky čelních představitelů státu na co největší ekologičnost provozu vozidla, je nutné vylepšovat parametry spalovacích motorů. Pístní kroužky v prvních spalovacích motorech vůbec používány nebyly. V motorech se objevili později v důsledku zvyšování teplot a tlaků v motoru a následně nutného vymezení proměnlivé vůle mezi válcem a pístem. Později přibyla i funkce stírání přebytečného maziva ze stěn válců. Soudobé pístní kroužky mají mnohem více funkcí v motoru než ty starší. Jsou jimi například podpora pístu při pohybu z horní úvratě do dolní a odvod tepla z pístu do válce. V současných zážehových motorech působí tak extrémní podmínky že i pístní kroužky musejí být vyráběny tak aby těmto extrémním podmínkám byly schopny odolat. Příkladem mohou být motory Mazdy s technologií Skyactiv, které dosahují hodnoty kompresního poměru až 14,0:1, což je nejvyšší kompresní poměr jaký byl kdy v zážehových motorech použit. Je zřejmé, že se zvýšením kompresního poměru se zvýší tlaky ve spalovací komoře a tím i požadavky na pístní kroužky.

Vývoj pístních kroužků ušel od doby svého vzniku až po dnešek velmi dlouhou cestu a určitě jen tak neskončí. Pístní kroužky budou zcela jistě součástí spalovacích zážehových motorů i několik dalších desítek let. Jejich budoucnost se nejspíše bude ubírat směrem vývoje nových a lepších materiálů jakým může být například keramika případně nějaký z kompozitních materiálů. Problém který bude třeba ještě u keramických materiálů vyřešit, jsou slabé vlastnosti při polosuchém mazání. V povrchových úpravách je vidět další prostor pro zlepšení. Vývoj se však zcela jistě dotkne i tvarů pístních kroužků. Proti rozšíření velmi kvalitních pístních kroužků však stojí jejich cena. Pístní kroužek by měl být levný neboť je to komponenta motoru, která se nejspíše a nejčastěji mění, kvalitní materiály jsou však zatím hodně drahé a to brání širšímu použití těchto kroužků do běžně vyráběných zážehových spalovacích motorů osobních automobilů.



POUŽITÉ INFORMAČNÍ ZDROJE

- [1] RAUSCHER, J., Spalovací motory, Studijní opory VUT v Brně, 2005.
- [2] ANDERSSON, Peter, Jaana TAMMINEN a Carl-Erik SANDSTRÖM. Piston ring tribology: A literature survey. Espoo: Technical Research Centre of Finland, 2002. ISBN 951-38-6107-4.
- [3] HRABÁK, V. a kol., Pístní kroužky, Konstrukce, výroba, provoz, Buzuluk Komárov, a.s., Charlie Hořovice, 2000
- [4] OTÁHAL, Vlastislav. TECHNICKO - EKONOMICKÉ PORADENSTVÍ. Tvárná litina - litina s kuličkovým grafitem [online]. 2. rozšířené. [cit. 2014-04-29]. Dostupné z: http://otahalconsult.cz/wp-content/pdf/TVL-II_vytah.pdf
- [5] ASIA. [online]. [cit. 2014-04-29]. Dostupné z: http://www.asia.ru/images/target/photo/51093459/Iron_Oxide_Black.jpg
- [6] Ceramtec: Neoxidová keramika – nitrid křemičitý (Si_3N_4). [online]. [cit. 2014-04-29]. Dostupné z: <http://www.ceramtec.cz/img/content/werkstoffe.siliziumnitrid.material.jpg>
- [7] FEDERAL-MOGUL BURSCHIED GMBH. Piston Ring Handbook [online]. 2008 [cit. 2013-10-21]. Dostupné z: <http://korihandbook.federalmogul.com/en/index.htm>
- [8] Gordonengland: Nickel Chromium Molybdenum Alloy Coating. [online]. [cit. 2014-04-29]. Dostupné z: <http://www.gordonengland.co.uk/img/625.jpg>
- [9] Highpowermedia: Phosphating. [online]. [cit. 2014-04-29]. Dostupné z: <http://www.ret-monitor.com/articles/wp-content/uploads/2011/12/surface-treatments-large-2.jpg>
- [10] Kamatora. [online]. [cit. 2014-04-29]. Dostupné z: http://www.kamatora.cz/fotky1056/fotos/pistni_krouzky.jpg
- [11] LANFORD, SC.D., George. Georgebasement: Microstructures - Surface Coatings and Heat Resisting Alloys - Lesson 3 - Ninth specimen. [online]. [cit. 2014-04-29]. Dostupné z: <http://www.georgebasement.com/Microstructures/CastIronsHighAlloySteelsSuperalloys/Lesson-3/Slide-21.JPG>
- [12] Pace Technologies: Introduction to Metallography. [online]. [cit. 2014-04-27]. Dostupné z: <http://www.metallographic.com/Images/CI-nodular-200X-AP-2.jpg>
- [13] Pace Technologies: Introduction to Metallography. [online]. [cit. 2014-04-27]. Dostupné z: <http://www.metallographic.com/Images/CI-GI-400X-AP-2.jpg>
- [14] PELATI DOMBKOWSKI, Evelyn. Metal Clay Magic: The Basics of Sintering Carbon-Fired Clay. [online]. [cit. 2014-04-29]. Dostupné z: <http://metalclaymagic.com/wp-content/uploads/sintered-metal-powder.jpg>



- [15] SHTONE. Wikimedia Commons. [online]. [cit. 2014-04-29]. Dostupné z: http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/5/58/Inside_of_a_tin_platted_can.jpg/800px-Inside_of_a_tin_platted_can.jpg
- [16] University of Cambridge: Department of Materials Science and Metallurgy. SOURMAIL, T., P. OPENDACKER, G. HOPKIN a H.K.D.H BHADESHIA. [online]. [cit. 2014-04-27]. Dostupné z: <http://www.msm.cam.ac.uk/phase-trans/images/auslarge.jpg>



SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

D	[mm]	Nominální průměr kroužku
E	[MPa]	Modul pružnosti materiálu v tahu
h	[mm]	Axiální šířka kroužku
p	[MPa]	Střední měrný tlak
P _D	[N]	Radiální síla
P _{tg}	[N]	Tangenciální síla
t	[mm]	Radiální šířka
z	[mm]	Mezera mezi konci nesevřeného zámku kroužku
σ_{bmax}	[MPa]	Napětí v ohybu v provozním stavu
σ_{nmax}	[MPa]	Napětí v ohybu při navlékání na píst